



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Appl. No. : 10/781,644  
Applicants : Won Nam KANG et al.  
Filed : February 20, 2004  
TC/A.U. : 1762  
Examiner : Brian K. Talbot

Docket No. : 1751-301.CON  
Customer No. : 6449  
Confirmation No. : 3455

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**DECLARATION UNDER 37 C.F.R. § 1.131**

We, Won nam Kang, Sung-ik Lee, Eun-mi Choi and Hyeong-jin Kim, declare as follows:

1. We are the same Won nam Kang, Sung-ik Lee, Eun-mi Choi and Hyeong-jin Kim named as an inventor in the above-captioned U.S. patent application.

Attached are Exhibits A and B. Exhibit A is a copy of an invention disclosure, the original of which was prepared in a WTO member country, South Korea, prior to March 12, 2001 but not prior to January 1, 1996. Exhibit A describes our invention as shown below. Exhibit B is a certified English translation of Exhibit A.

2. Independent claim 1 is set forth in bold below. The support in Exhibit A for each recited element is set forth in brackets right below the corresponding claim element.

**A method for forming a superconducting magnesium diboride (MgB<sub>2</sub>) thin film, the method comprising:**

[Page 1, line 2 describes a method for forming a superconducting magnesium diboride (MgB<sub>2</sub>) thin film.]

**forming a boron thin film on a monocrystalline sapphire substrate or a monocrystalline strontium titanate substrate**

[Page 2, lines 24-25 describes a monocrystalline sapphire substrate and a monocrystalline strontium titanate substrate were used to produce magnesium diboride thin film.]

**by pulsed laser deposition, sputtering deposition, electron beam evaporation, metallorganic chemical vapor deposition, or chemical vapor deposition;**

[Page 2, lines 18-19 describes forming a boron thin film on a substrate using laser.]

**thermally processing the substrate on which the boron thin film is formed along with a magnesium source and cooling the resulting structure,**

[Page 2, lines 37-38 describes thermally treating at 600°C-1000°C a boron thin film and magnesium. Page 3, lines 10-12 describes heating a sample in an electrical furnace at 600°C-1000°C and cooling the sample.]

**the substrate having the boron thin film and the magnesium source being double sealed with a container made of tantalum or niobium on the inside and a container made of quartz on the outside;**

[Pages 3, lines 2-6 describes a double sealed heat treatment device wherein a tantalum tube contains magnesium and boron thin film and a quartz tube protects the tantalum tube from oxidation.]

**placing the substrate with the boron thin film and the magnesium source in a heat source having a temperature equal to or greater than 600°C and less than 950°C; and**

[Pages 2, lines 37-38 describes thermally treating at 600°C-1000°C a boron thin film and magnesium. Page 3, lines 10-12 describes heating a sample in an electrical furnace at 600°C-1000°C and cooling the sample.]

**rapidly heating the substrate with the boron thin film and the magnesium source for 10-60 minutes, and then cooling the substrate,**

[Page 3, lines 6-8 describes maintaining heat treatment as briefly as possible to reduce chemical side reactions during film production. Page 3, lines 11-12 describes finishing heat treatment within 2 hours.]

Appl. No. 10/781,644  
Declaration under 37 C.F.R. § 1.131

wherein both ends of the container made of tantalum or niobium are sealed in an inert gas atmosphere, and both ends of the container made of quartz are sealed in a vacuum.

[Page 3, lines 35-36 describes sealing a tantalum tube in an inert gas atmosphere. Page 3, line 13 describes a film-growing tube in a highly vacuum state.]

4. During the period, which is prior to March 12, 2001 and until the patent application was filed with the Korean Patent Office on March 19, 2001, we exercised reasonable diligence in assisting with the preparation and finalization of the patent application for filing in the U.S. Patent and Trademark Office.

**DECLARATION UNDER 37 C.F.R. § 1.68**

All statements made herein of our own knowledge are true and all statements made on information and belief are believed to be true. All statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code, and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issuing thereon.

Dated: 29/8/2005

Won Nam Kang  
Won nam Kang

Dated: 29/8/2005

Sung-ik Lee  
Sung-ik Lee

Dated: 29/8/2005

Eun-mi Choi  
Eun-mi Choi

Dated: 29/8/2005

Hyeong-jin Kim  
Hyeong-jin Kim

# 명 세 서

## 1. 발명의 명칭

MgB<sub>2</sub> 금속 고온초전도체의 박막 제조 방법

## 2. 도면의 간단한 설명

제 1 도는 본 발명의 1 단계 공정과정을 설명하기 위한 레이저 증착 장비의 개략도이다.

제 2 도는 본 발명의 2 단계 공정과정을 설명하기 위한 것이며, 특수 사후 열처리 장치에 대한 개략도이다.

### \*도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명\*

- |                |                |
|----------------|----------------|
| 1. 레이저빔 방향     | 7. 수평형 전기로의 단면 |
| 2. 기판 고정판      | 8. 수정관         |
| 3. 고진공 박막성장실   | 9. 탄탈륨관        |
| 4. 기판          | 10. 보론 박막      |
| 5. 보론이 증발되는 모양 | 11. 사파이어 기판    |
| 6. 타겟 및 타겟고정판  | 12. 마그네슘       |

## 3. 발명의 상세한 설명

본 발명은 MgB<sub>2</sub> 박막을 제조하는 특수공정에 대한 것이다.

최근에 나가마쓰 [J. Nagamatsu et al., Nature 410, 63 (2001. 3. 1)]와 공동연구자들에 의해 발견된 MgB<sub>2</sub> 초전도체는 초전도 전이온도가 39 K로서 기존에 발견된 금속 초전도체(23 K)에 비해 매우 높고 전도전자의 밀도가 커서 전류수송특성이 양호하므로 향후 기존에 사용되고 있는 모든 초전도에 관련된 장치들이 MgB<sub>2</sub>로 대체될 가능성이 크다. 이러한 응용가능성에 대한 높은 기대에 힘입어 현재 전 세계적으로 폭발적인 연구가 수행되고 있다. 이미 미국의 아이오와 주립대학의 캔필드 [P. C. Canfield et al., Phys. Rev. Lett (2001. 3. 출간 예정)] 교수의 연구그룹에 의해 초전도 선재를 개발하여 실용화가 될 수 있음을 직접 확인하였다. 이 상업화가 가능성이 현실화 되어가고 있음을 보여주는 단적인 예로서, 현재 미국과 일본 등에서는 본 초전도체를 제조하는데 필요한 원소인 마그네슘과 보론을 수출금지 품목으로 지정하여 범 국가적으로 연구 및 상업화 분야에 우선권을 확보하기 위한 조치를 취한 것으로 알려져 있다. 한편, 본 초전도체를 전자장비에 응용하기 위해서는 박막형태로 제조하는 것이 필수적이며, 현재 전세계의 수 많은 연구그룹에 의해서 연구가

진행되고 있으나 아직까지는 성공적인 연구결과가 보고된 바가 없다. 즉 본 연구 결과가 세계 최초로 이루어진 발명 사례이다. 그러므로 아직까지 본 발명에 관련된 특허는 한 건도 출원된 바가 없다. 본 발명에 의해 제조된 초전도 박막은 미세자기장을 탐지하는 초전도양자간섭소자(SQUIDS)를 이용하는 의료용 정밀진단 장비와 위성통신에서 사용되는 마이크로파 통신 장비, 그리고 조셉슨 소자를 이용하면 반도체로 만든 컴퓨터보다 그 연산 성능을 약 100배 정도 향상시킬 수가 있는 컴퓨터 등에 응용이 가능하다.

본 발명에서 사용되는  $MgB_2$  박막을 제조하는 순서는 아래와 같이 크게 2 단계의 과정으로 나눌 수가 있다. 1 단계는 물리적 박막증착장비(레이저증착장치, 스퍼터링증착장치, 전자빔증착장비)를 이용하여  $MgB_2$ 의 선물질(Precursor)인 비정질 보론박막을 기판에 증착하는 과정이고, 2 단계는 제조된 보론박막에 마그네슘을 반응시켜 최종적으로 초전도  $MgB_2$  박막을 생산하는 과정이다.

#### 가. 1 단계 공정 (보론 박막 제조 공정)

우선 물리적인 박막제조방법으로 박막을 증착하기 위해서는 타겟(Target)이 필요한데, 입자가 작은 적당량의 보론분말을 동전모양으로 찍어낼 수 있는 실린더 모양의 틀(직경 25.4 mm)에 넣고 약 6 - 10 톤으로 가압하여 만들었다. 이 타겟을 제 1 도에 있는 타겟 고정장치에 부착한 후에 엑시머레이저를 입사하면 타겟에 있는 보론이 증발되면서 기판부착장치에 있는 기판위에 보론 박막이 형성된다. 이 때 사용한 시험조건은 레이저 진동수는 8 Hz, 에너지는 550 mJ이다. 이 때 보론의 기화온도가 매우 높기 때문에 렌즈를 이용하여 에너지의 밀도를 크게 만들었는데, 사용한 에너지를 밀도로 환산하면  $20-30 \text{ J/cm}^2$ 이 된다. 약 3 시간동안 제조한 박막의 두께는 약  $0.5 \mu\text{m}$ 이며, 표면이 거울같이 반짝이는 양질의 박막임을 육안으로도 확인을 할 수가 있었다. 박막제조용 기판으로는 사파이어 ( $Al_2O_3$ , 1102 평면) 단결정과 스트론튬티오테이트( $SrTiO_3$ , 001 평면) 단결정을 사용하여 실험하였으며,  $MgB_2$ 의 박막을 제조하는데 있어서 사파이어 기판이 더 적합한 재료임을 확인하였다.

#### 나. 2 단계 공정 (후속 열처리 공정)

본 공정과정은 1 단계에서 증착한 보론 박막에 열처리를 통하여 마그네슘을 확산시키고, 동시에 단일 배향성을 갖는  $MgB_2$  결정상이 형성되도록 하는 과정이다. 마그네슘은 화학적 특성이 산화가 쉽게 되고 용융온도가  $650^\circ\text{C}$ , 기화온도가  $1107^\circ\text{C}$ 로서 보론(용융온도:  $2100^\circ\text{C}$ , 기화온도:  $4000^\circ\text{C}$ )에 비해 매우 낮기 때문에 상압에서는 합성이 잘 안되고, 고압 합성만이 가능한 것으로 알려져 있다. 그래서 우리는 마그네슘의 산화를 막으면서도 고압으로 합성할 수 있는 특수한 방법을 고안하여 성공적으로  $MgB_2$  박막을 제조하였다.

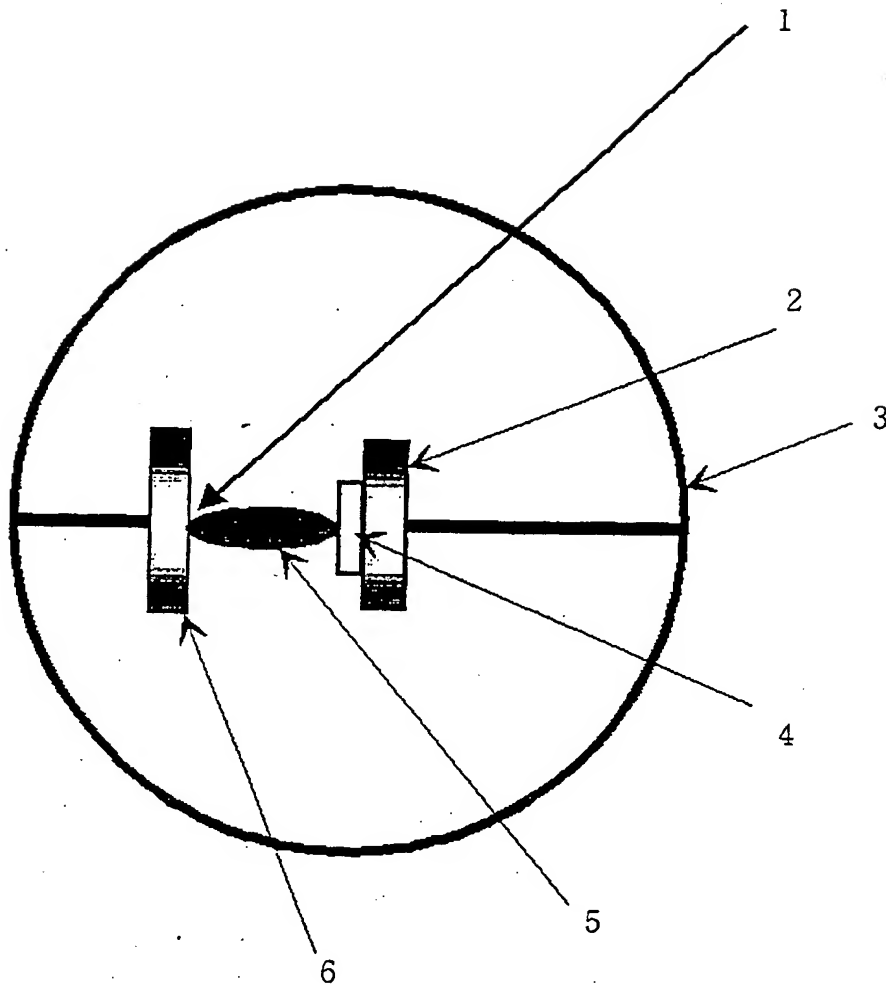
특수한 후속 열처리 장치는 제 2 도에 나타나 있으며, 상세한 내용은 다음과 같다. 우선 보론 박막과 마그네슘을 반응시켜 결정을 성장시키기 위해서는 전기로에서  $600 - 1000^\circ\text{C}$  영역에서 열처리를 해야 한다. 그런데, 이 과정에서 마그네슘이 공기 중에 있는 산소와 결합하여 산화 마그네슘을 형성하기 때문에 시편이 산소

와 격리된 상태에서 결정이 성장 되어야 한다. 고온에서, 마그네슘과 화학반응을 일으키지 않는 물질로서는 탄탈륨과 텅스텐 등이 알려져 있다. 본 발명에서는 마그네슘과 보론 박막이 산화되는 것을 막기 위하여 제 2 도에 나타난 바와 같이 연성이 좋고 용접하기가 쉬운 탄탈륨관을 사용하였다. 또한 고온에서 공기와 접촉되는 탄탈륨이 산화되는 것을 막는 보호 벽으로 수정관을 사용하여 이중으로 밀폐된 특수 시편 열처리 장치를 사용하였다. 그리고 고온에서 박막을 제조하는 경우에 박막과 기관간의 화학반응으로 인하여 양질의 박막을 제조하기가 어려운데, 이러한 화학반응을 줄이기 위하여 열처리 시간을 가능한 짧게 하여 이 문제를 극복하였다. 즉, 본 발명에서는 수평식 수정관을 사용하는 전기로를 사용하였는데, 시편을 전기로에 넣기 전에 전기로를 600 - 1000 °C로 가열하고 온도를 고정한 후에 약 30 분 이내에 걸쳐 서서히 시편을 온도가 균일한 부분인 중심까지 이동시키고 약 2 시간 이내에 열처리를 한 후에 즉시 전기로에서 꺼내어 1 시간 이내에 냉각하였다. 이렇게 하여 최종적으로 제조된 박막은 기관의 면에 수직한 방향으로  $MgB_2$ 가 c 축 배향성을 보이는 매우 양질의 박막임을 X-ray 회절 분석장비를 이용하여 확인하였으며, 실제로 상업화에 필요한 특성인 초전도성은 초전도 임계온도가 39 K이며, 임계전류 밀도가 전기도선 단면적  $1\text{ cm}^2$  당 8,000,000 암페어를 수송할 수가 있음을 확인하였다. 이 임계온도는 초전도 선재에서 보이는 것과 같은 온도이며, 임계전류밀도는 그 선재에 비해 약 20 배 이상 많은 전류를 수송할 수가 있는 능력으로서 현재까지  $MgB_2$ 에서 보고된 임계전류밀도 중에 가장 큰 값을 보여주는 상업적으로 가장 가치가 높은 시편임을 확인하였다. 그러므로 생산 기술적인 면을 좀 더 보강하고 대량생산을 가능하게 한다면 충분히 산업화가 가능한 발명 결과인 것이다.

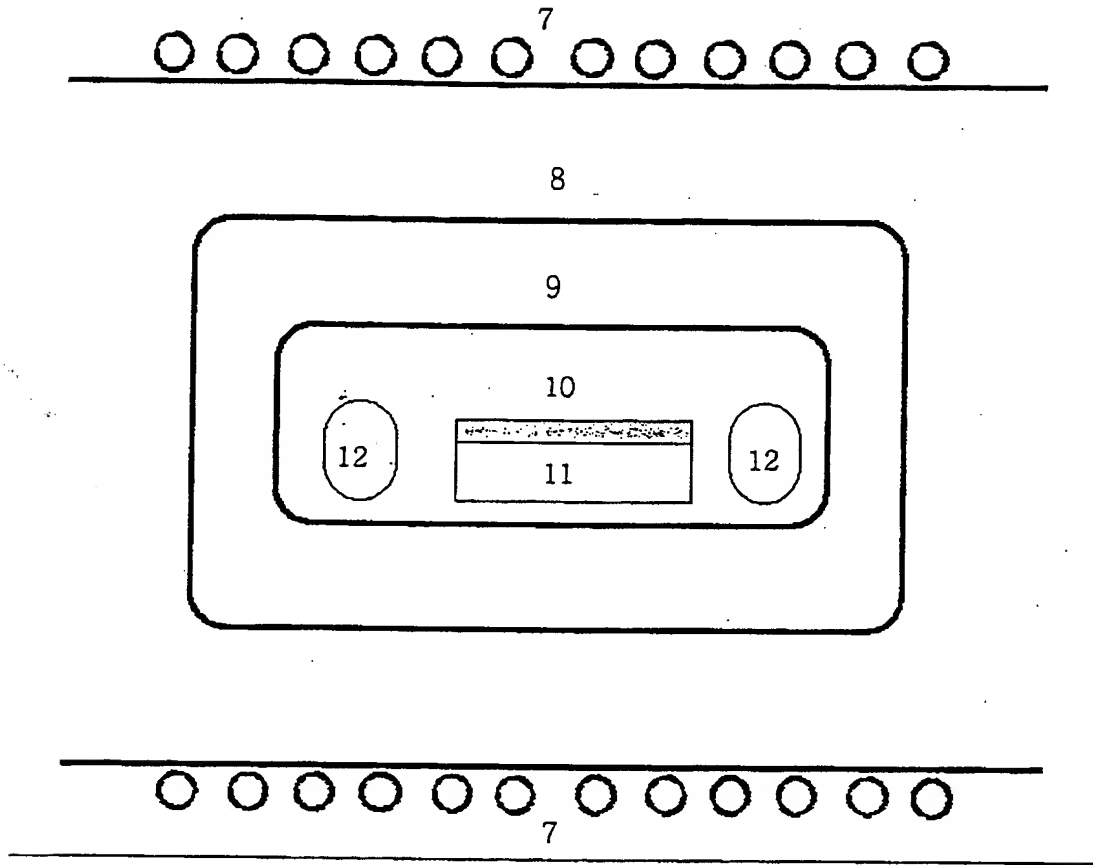
#### 4. 발명 청구범위

- 가. 1 단계 공정과정에서 레이저증착방법(Pulsed Laser Deposition)을 포함하여 스퍼터링(Sputtering) 증착법, 전자빔 증발법(Electron beam evaporation), 화학적 유기금속증착법(MOCVD, Metal Organic Chemical Vapor Deposition), 화학적 증기증착법(chemical Vapor Deposition)을 이용하여 보론 박막을 증착하는 방법.
- 나. 2 단계 공정에서 마그네슘을 비정질 보론 박막을 함께 넣어 보론 박막 속으로 확산시켜 반응이 일어나도록 하는 방법.
- 다. 2 단계 공정에서 마그네슘과 반응하지 않는 탄탈륨관을 불활성 가스 분위기에서 아크용접하여 사용하는 방법.
- 라. 2 단계 공정에서 탄탈륨의 산화를 막기 위하여 수정관의 양단을 밀폐하여 사용한 방법.
- 마. 2 단계 공정에서 전기로의 온도를 600 - 1000 °C로 올리고 시편을 30 분 이내에 전기로 속으로 넣어 이 온도에서 2 시간 이내에 속성 열처리하고 바로 꺼내서 1 시간 이내에 냉각하는 방법.

# 도면



제 1 도. 본 발명의 1 단계 공정과정을 설명하기 위한 레이저 증착 장비의 개략도.



제 2 도. 본 발명의 2 단계 공정 과정인 후속 열처리 장치에 대한 개략도.



## 요 약 서

본 발명은 최근(2001년 1월 10일)에 발견된  $MgB_2$  초전도체 박막을 제조하는 획기적인 방법에 대한 것이며, 향후 초전도체를 이용한 전자장비에 적용할 경우 응용성이 매우 크다. 본 발명의 내용은  $MgB_2$  초전도 박막을 제조하기 위하여 비정질 보론 박막을 고진공 레이저증착장비를 이용하여 증착하고, 이 박막을 전기로에서 급속 열처리를 하는 방법에 대한 것이다. 그리고 열처리 과정에서 시편이 산화되거나 오염되는 것을 방지하기 위한 방법으로 탄탈륨관과 수정관을 사용하여 효과적으로 세계 최고 품질의  $MgB_2$  박막을 제조할 수가 있었다. 산업화를 위해서는 대량생산이 필수적인데, 향후 본 발명결과를 바탕으로 대량생산장비로 전환하는 거시적인 기술적 문제만 남아 있다.

본 발명은 세계 최초로  $MgB_2$  박막을 성공적으로 제조한 사례이며, 향후 산업화가 이루어질 것이 확실하다.  $MgB_2$  초전도 박막은 미세자기장을 탐지하는 초전도 양자간섭소자(SQUIDS)를 이용하여 병을 진단할 수 있는 의료용 장비와 위성통신에서 사용되는 마이크로파 통신 장비, 그리고 조셉슨 소자를 이용하여 컴퓨터를 제작하면 현재보다 연산 속도를 100 배 이상 향상시킬 수가 있는 컴퓨터 등에 응용이 가능하므로 그 경제적 가치가 매우 클 것으로 사료된다.



### CERTIFICATION OF TRANSLATION

I, LEE, Young Ju, an employee of Y.P. LEE, MOCK & PARTNERS of The Cheonghwa Bldg., 1571-18 Seocho-dong, Seocho-gu, Seoul, Republic of Korea, hereby declare under penalty of perjury that I understand the Korean language and the English language; that I am fully capable of translating from Korean to English and vice versa; and that, to the best of my knowledge and belief, the statements in the English language in the attached translation of Notification of Invention (Superconducting Magnesium Diboride Thin Film and Method and Apparatus for Fabricating the Same), consisting of 6 pages, have the same meanings as the statements in the Korean language in the original document, a copy of which I have examined.

Signed this 30<sup>th</sup> day of September, 2005

Youngju Lee



## SPECIFICATION

### 1. Title of the Invention.

Method of Forming Superconducting Magnesium Diboride Thin film

### 2. Brief Description of the Drawings

FIG. 1 is a schematic view illustrating a laser deposition apparatus used for step 1 of the present invention.

FIG. 2 is a schematic view illustrating a thermal process apparatus used for step 2 of the present invention.

#### <Description of Reference Numerals for Main Components of Drawings>

1: direction in which laser beam is radiated

2: support plate for substrate

3: high-vacuum container for thin film growth

4: substrate

5: boron evaporation toward substrate

6: target and support plate for target

7: section of horizontal type electric furnace

8: quartz tube

9: tantalum tube

10: boron thin film

11: sapphire substrate

12: magnesium

### 3. Detailed Description of the Invention

The present invention relates to a method of forming a magnesium diboride ( $\text{MgB}_2$ ) thin film.

Recently, a research report on  $\text{MgB}_2$  in *Nature* 410, p.63, March 1, 2001 by Nagamatsu *et al.* discloses superconducting  $\text{MgB}_2$  having a transition temperature as high as 39 K, compared to the transition temperature of 23 K for conventional superconducting metals.  $\text{MgB}_2$  also has high current transporting capability due to higher conduction-electron density. Thus, it is highly probable that almost all existing conventional superconducting materials will be replaced with the  $\text{MgB}_2$  superconductor. Such highly probable applicability of the superconducting  $\text{MgB}_2$  has boosted recent research on superconducting  $\text{MgB}_2$  worldwide. As an example, P.C. Canfield *et al.* at the Iowa State Univ. (US) developed superconducting wires for

practical uses (*Phys. Rev., Lett.* (March, 2001)). By way of more illustrative example, it is known that the embargo on the export of magnesium and boron essential for preparation of  $\text{MgB}_2$  superconductors was recently placed in America, Japan, etc. to acquire priority to the study and commercialization of the  $\text{MgB}_2$  superconductors. Meanwhile, processing of superconducting  $\text{MgB}_2$  into a thin film is essential for its application in a variety of electronic devices, and thus has been globally studied by many research groups. However, there have not yet been any reports of superconducting  $\text{MgB}_2$  in the form of thin film with satisfactory effects. That is, a superconducting  $\text{MgB}_2$  thin film of the present invention is the first invention in the world. Up until now, no patent applications related to the present invention have been filed. A superconducting  $\text{MgB}_2$  thin film formed according to the present invention can be used in precision medical diagnosis equipment using superconducting quantum interface devices (SQUIDs) capable of sensing weak magnetic fields, microwave communications equipment used for satellite communications, and Josephson devices. Computer systems with 100 times greater computing speed can be implemented with the superconducting  $\text{MgB}_2$  thin film.

A method of forming a  $\text{MgB}_2$  thin film according to the present invention roughly involves two steps: step 1 is to deposit amorphous boron which is a precursor of  $\text{MgB}_2$  on a substrate using a physical thin film deposition apparatus (laser deposition apparatus, sputtering deposition apparatus, electron beam deposition apparatus) to form a boron thin film and step 2 is to form a superconducting  $\text{MgB}_2$  thin film through reaction of the boron thin film with magnesium.

#### A. Step 1 (boron thin film formation)

To deposit a boron thin film by a physical thin film deposition method, a target is needed. For this, a coin-like target for use in the deposition of the boron thin film was prepared by stuffing a cylindrical mold (having a diameter of 25.4 mm) with appropriate amount of small-sized boron powders and applying pressure on the order of 6-10 tons. The target is fixed to a support plate for the target shown in FIG. 1 and irradiated with an excimer laser beam. As a result, boron is evaporated from the target and forms a boron thin film on the substrate fixed to the top of the support plate for the substrate. The boron deposition is carried out under the conditions of a

laser pulse frequency of about 8 Hz and a laser beam energy of 550 mJ. At this time, since boron's vaporizing temperature is very high, a laser beam energy density increased to 20-30 J/cm<sup>2</sup> by a lens is used. When boron deposition is continued for about 3 hours under the above conditions, a boron thin film having a thickness of about 0.5  $\mu$ m and a mirror-like glossy surface is obtained. The substrate on which the boron thin film is formed may be a monocrystalline sapphire (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, plane <1102>) substrate or a monocrystalline strontium titanate (SrTiO<sub>3</sub>, plane <001>) substrate. A monocrystalline sapphire substrate is more preferable for formation of a MgB<sub>2</sub> thin film.

#### B. Step 2 (thermal process)

In Step 2, a superconducting MgB<sub>2</sub> thin film is formed by diffusing magnesium into the boron thin film through a thermal process to grow MgB<sub>2</sub> crystal having uniform orientation. Magnesium is easy to oxidize and has a melting temperature of 650°C and a vaporizing temperature of 1107°C, which are much lower than the melting point of 2100°C and vaporizing temperature of 4000°C of boron. Magnesium needs high-pressure reaction conditions due to its poor reactivity at atmospheric pressure. Thus, the present inventors developed a special thermal process enabling prevention of magnesium oxidation and high-pressure reaction and thus successfully manufactured a MgB<sub>2</sub> thin film.

An apparatus for such a special thermal process is illustrated in FIG. 2 and its detailed description will be given below. To grow MgB<sub>2</sub> crystal through reaction of the boron thin film with magnesium, the boron thin film and the magnesium source must be heated at a temperature of 600-1000°C in an electric furnace. However, since the magnesium source may form magnesium oxide through reaction with oxygen in air, it is necessary to grow MgB<sub>2</sub> crystal in oxygen-free environment. Tantalum, tungsten, etc. are known as a material incapable of causing chemical reaction with the magnesium source. In the present invention, to prevent the boron thin film and the magnesium source from oxidizing, a tantalum tube with good ductility and weldability is used as shown in FIG. 2. Furthermore, to prevent oxidation of tantalum in contact with air, the tantalum tube is protected by a quartz tube. Thus, in the present invention, the boron thin film and the magnesium source are double-sealed with the above-described thermal treatment apparatus. Meanwhile, when a MgB<sub>2</sub> thin film is formed at a high temperature, it is difficult to

obtain a high-quality thin film due to chemical reaction of the  $\text{MgB}_2$  thin film with the substrate. In view of this problem, the thermal process is carried out in a short time. That is, in the present invention, an electric furnace using a horizontal quartz tube is used. Prior to placing a sample into the electric furnace, the electric furnace is raised to 600-1000°C. Then, the sample is moved to a uniform-temperature center region of the electric furnace within 30 minutes, heated at a temperature of 600-1000°C within about 2 hours, immediately drawn out of the electric furnace, and cooled within 1 hour. A result of an X-ray diffraction test on a  $\text{MgB}_2$  thin film obtained by the above-described method shows that the resultant  $\text{MgB}_2$  thin film is a good thin film having the c-axis orientation. The  $\text{MgB}_2$  thin film formed by the method has a superconducting critical temperature of 39 K and a critical current density of 8,000,000 A/cm<sup>2</sup> which satisfy the superconductor requirements necessary for commercial applications. The superconducting critical temperature of the  $\text{MgB}_2$  thin film is the same as that of superconducting  $\text{MgB}_2$  wires. The critical current density of the  $\text{MgB}_2$  thin film sets the highest record of 20 times greater current transporting capability than superconducting  $\text{MgB}_2$  wires. These results reveal that the  $\text{MgB}_2$  thin film of the present invention is the most commercially valuable. Thus, mass production of the present invention by technical reinforcement enables sufficient industrialization.

What is claimed is:

1. A method comprising step 1 of depositing a boron thin film using pulsed laser deposition, sputtering deposition, electron beam evaporation, metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), or chemical vapor deposition.

2. A method comprising step 2 of diffusing a magnesium source into an amorphous boron thin film.

3. The method of claim 2, wherein a tantalum tube that does not react with the magnesium source is used by arc welding under an inert gas atmosphere.

4. The method of claim 2, wherein both ends of a quartz tube is sealed to prevent oxidation of tantalum.

5. The method of claim 2, wherein an electric furnace is heated to 600-1000°C, a sample is placed in the electric furnace within 30 minutes, rapidly heated at the temperature of 600-1000°C within 2 hours, immediately drawn out of the electric furnace, and cooled within 1 hour.

## Abstract of the Disclosure

2. The present invention relates to a novel method of forming a superconducting  
MgB<sub>2</sub> thin film which was recently invented (January 10, 2001). The method of the  
5 present invention has very high applicability in electronic devices employing  
superconducting thin films. The method of forming the superconducting MgB<sub>2</sub> thin  
film comprises depositing an amorphous boron thin film using a high-vacuum pulsed  
laser deposition apparatus and rapidly heating the boron thin film in an electric  
furnace. To prevent a sample from oxidizing or contaminating during the thermal  
10 process, a tantalum tube and a quartz tube are used. Therefore, a high-quality  
MgB<sub>2</sub> thin film can be formed. For industrialization of the MgB<sub>2</sub> thin film, mass  
production is essential. Thus, there is room for improvement in technology for  
transformation into mass-production system.

2. The MgB<sub>2</sub> thin film of the present invention is the first invention in the world  
15 and there is no doubt that the MgB<sub>2</sub> thin film can be produced on an industrial scale.  
The MgB<sub>2</sub> thin film can be used in precision medical diagnosis equipment using  
superconducting quantum interface devices (SQUIDs) capable of sensing weak  
magnetic fields, microwave communications equipment used for satellite  
communications, and Josephson devices. Computer systems with 100 times  
20 greater computing speed can be implemented with the superconducting MgB<sub>2</sub> thin  
film. Therefore, it is thought that the economic value of the MgB<sub>2</sub> thin film would be  
considerable.



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**